

Permanent-magnet synchronous motor

Patent number: DE69503521T
Publication date: 1999-03-04
Inventor: WAVRE NICOLAS (CH)
Applicant: WAVRE NICOLAS (CH)
Classification:
 - international: *H02K1/14; H02K3/18; H02K3/24; H02K21/14; H02K41/03; H02K9/19; H02K1/14; H02K3/04; H02K3/18; H02K21/14; H02K41/03; H02K9/19; (IPC1-7): H02K1/14; H02K3/18; H02K3/24; H02K21/14; H02K41/03*
 - european: H02K1/14D; H02K3/18; H02K3/24; H02K21/14; H02K41/03
Application number: DE19956003521T 19951106
Priority number(s): WO1995EP04344 19951106; FR19940013714 19941116

Also published as:

WO9615574 (A3)
 WO9615574 (A2)
 EP0793870 (A3)
 EP0793870 (A2)
 US5642013 (A1)

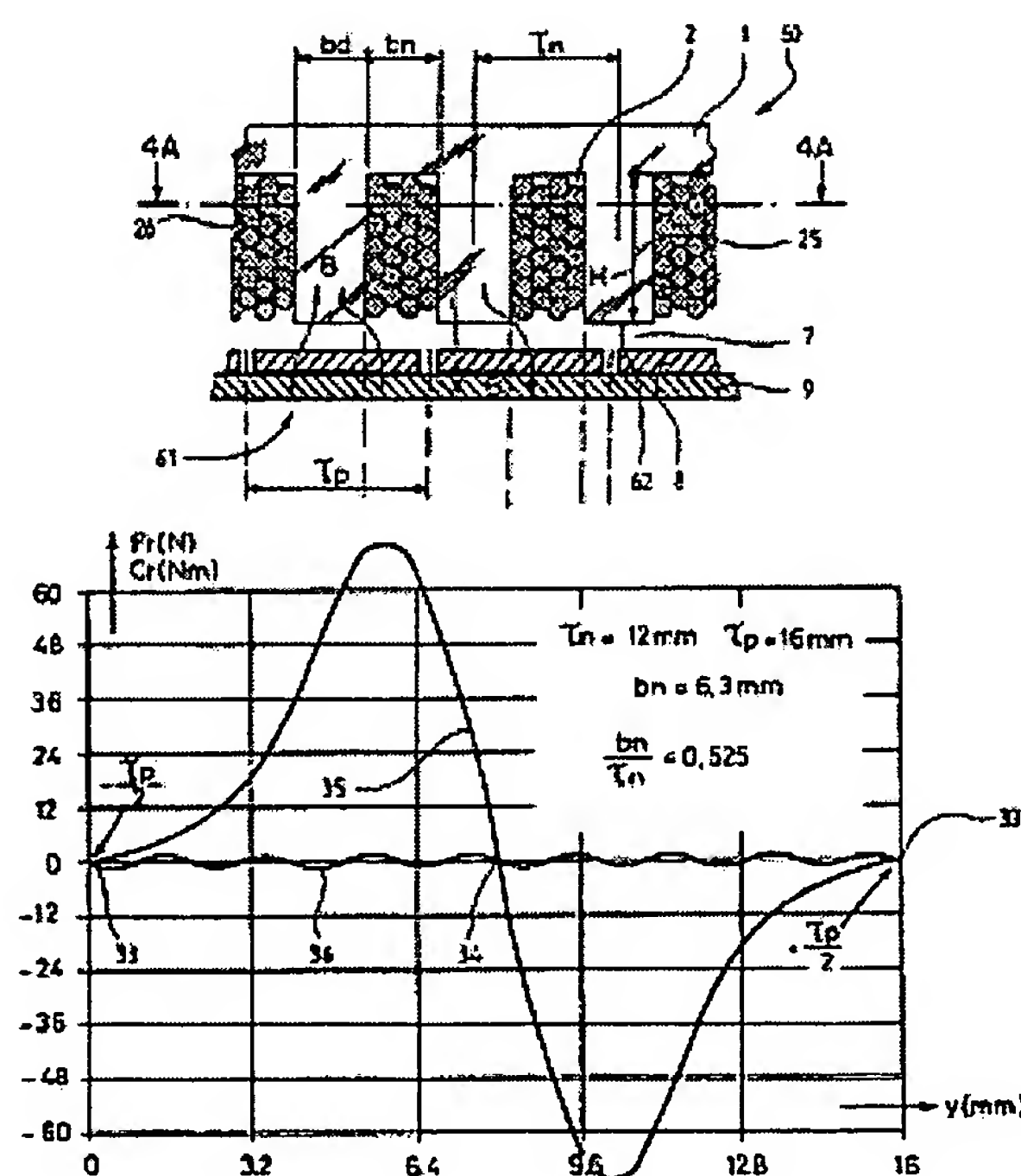
more >>

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE69503521T

Abstract of corresponding document: **US5642013**

The synchronous motor comprises an armature having a plurality of teeth solid with a yoke and spaced apart by slots in which coils are accommodated. An inductor comprising a plurality of magnets borne by a sole is spaced from the armature by an air-gap. The motor is so dimensioned that the teeth of the armature have a constant cross-section over their entire height and the width of the slots alongside the tooth heads is substantially equal to the width of these heads to minimize the parasitic reluctant effect due to the slots. The motor may be linear or rotary.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑧⑦ EP 0 793 870 B 1

⑩ DE 695 03 521 T 2

⑤① Int. Cl.⁶:
H 02 K 1/14
H 02 K 3/18
H 02 K 21/14
H 02 K 41/03
H 02 K 3/24

②① Deutsches Aktenzeichen:	695 03 521.5
⑧⑥ PCT-Aktenzeichen:	PCT/EP95/04344
⑧⑥ Europäisches Aktenzeichen:	95 937 867.0
⑧⑦ PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 96/15574
⑧⑥ PCT-Anmeldetag:	6. 11. 95
⑧⑦ Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	23. 5. 96
⑧⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA:	10. 9. 97
⑧⑦ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	15. 7. 98
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt:	4. 3. 99

③⑩ Unionspriorität:
9413714 16. 11. 94 FR

⑦③ Patentinhaber:
Wavre, Nicolas, Neuchatel, CH

⑦④ Vertreter:
Sparing . Röhl . Henseler, 40237 Düsseldorf

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, IE, IT, LI, NL, SE

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

⑤④ SYNCHRONMOTOR MIT DAUERMAGNETEN

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

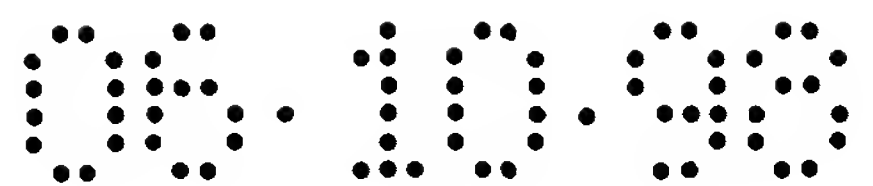
DE 695 03 521 T 2

DE 695 03 521 T 2

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Synchronmotor, umfassend einen Anker, der ein Joch, eine
5 Vielzahl von Zähnen, die jeweils ein erstes mit dem Joch
verbundenes Ende aufweisen und zwischen ihnen Taschen
begrenzen, und Spulen aufweist, die teilweise in den Taschen
vorgesehen sind und derart angeordnet sind, dass sie einen
Magnetfluss in den Zähnen erzeugen, wenn diese Spulen
10 gespeist werden, welche Zähne jeweils ein zweites dem ersten
Ende entgegengesetztes Ende aufweisen, das einen Zahnkopf mit
einer ersten Breite bildet, und welche Taschen jeweils eine
zweite Breite in Höhe der Zahnköpfe aufweisen, wobei die
Summe der ersten und der zweiten Breite eine Zahnteilung
15 bestimmt, welcher Motor ferner einen Induktor umfasst, der
gegenüber den Zahnköpfen angeordnet ist und eine Vielzahl von
Permanentmagneten und eine Rückflusssohle umfasst, auf
welcher die Permanentmagneten angeordnet sind.

Ein Synchronmotor, der der obenstehenden Rahmen-
20 definition entspricht, ist bekannt. Er ist in diesem Dokument
durch die Figuren 1, 1a, 2 und 3 illustriert, die sich auf
den Stand der Technik beziehen.

Figur 1 ist ein partieller Schnitt eines linearen
Synchronmotors, der gemäss diesem Stand der Technik
25 konstruiert ist. Hier ist der Anker 60 ein Stator, der von
einem Paket mit ferromagnetischen Blechen gebildet ist und
wovon man das Joch 1 und die Zähne 10 erkennt, die
regelmässig mit einer Zahnteilung m angeordnet sind. Der
Anker 60 umfasst noch eine Vielzahl von Taschen 2, die die
30 Zähne 10 trennen und in denen Spulenwicklungen 4
untergebracht sind, wobei diese Wicklungen durch isolierende
Folien 3 vom Joch 1 und den Zähnen 10 isoliert sind. In
dieser Art von Motor enden die Köpfe der Zähne 10 in einer



Erweiterung oder Sohle 10', die zum Ziel hat, eine Öffnung oder Vortasche 6 mit verminderter Breite zu bilden, und dies aus Gründen, die weiter unten erscheinen. Die Wicklungen 4 sind im allgemeinen lose, ohne genaue Ordnung gespult, entweder mit der Spulenmaschine oder von Hand über die Vortaschen 6 in die Taschen 2 eingeführt. Um die Wicklung in der Tasche 2 aufrechtzuerhalten, bringt man einen Keil 5 an, der sich auf die Zahnsohlen 10' abstützt.

Figur 1 zeigt noch den Induktor 61 des Motors, wobei dieser Induktor 61 im hier gewählten Beispiel der bewegliche Teil des Motors ist, welcher sich linear entlang der Achse y verlagert. Dieser Induktor 61 umfasst im wesentlichen eine Vielzahl von Permanentmagneten 8 in Form von Quadern, die regelmässig mit einer Polteilung τ_p auf einer ebenen Rückflusssohle 9 angeordnet sind, die aus einem ferromagnetischen Material besteht. Der Anker 60 und der Induktor 61 sind durch einen Luftspalt 7 getrennt.

Figur 2 stellt die Verteilung der normalen Komponente der magnetischen Induktion B dar, die in Tesla (T) ausgedrückt ist und sich hier über zwei Polteilungen τ_p erstreckt. Es ist zu bemerken, dass diese Induktion B diejenige ist, die einzig durch die Magnete 8 des Induktors 61 auf den Zähnen 10 des Ankers 60 in der Schnittebene der Figur 1 erzeugt wird, ob die Wicklungen 4 gespeist werden oder nicht. Man erkennt auf Figur 2, dass die Öffnungen 6 der Taschen 2 gut sichtbare Störungen 15 und 16 auf der Konfiguration der Induktion B hervorrufen. Diese Öffnungen mit der Breite b_n sind für das wohlbekannte Phänomen in den Motoren mit Permanentmagneten verantwortlich, ein Phänomen, das man Reluktanz-Effekt nennt. Dieser Effekt erzeugt eine parasitäre Kraft, oder Reluktanz-Kraft F_r , die entlang der Achse y geführt wird und die das richtige Funktionieren des Motors stört. Die Variation dieser Kraft F_r ist im Diagramm der Figur 3 dargestellt.

05.10.99

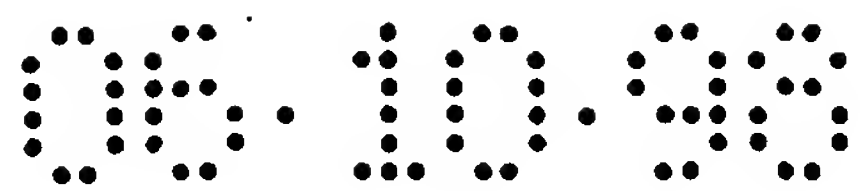
Das Diagramm der Figur 3 basiert auf einem Motor, der eine Zahnteilung t_n von 12mm, eine Polteilung t_p von 16mm und eine Taschenöffnung von 1,5 mm aufweist, wobei das Verhältnis b_n/t_n also einen Wert von 0,125 hat. Die Polteilung t_p ist auf der Abszisse und die Reluktanz-Kraft F_r auf der Ordinate angegeben. t_p ist in Millimeter (mm) und F_r in Newton (N) ausgedrückt. Die Kurve 17 des Diagramms der Figur 3 zeigt die Konfiguration der Reluktanz-Kraft F_r , die erzeugt würde, wenn der Anker nur eine Tasche hätte. Diese Kurve ist durch zwei instabile Punkte 22 und 22' mit geringer Steilheit und durch einen stabilen Punkt 21 mit grosser Steilheit gekennzeichnet. Bei den Punkten 22 und 22' befindet sich die Tasche 6 in der Mitte eines Magneten 8 ($-t_p/2$ und $+t_p/2$), während sie sich beim Punkt 21 zwischen zwei Magneten 8 befindet. Wenn sich der Induktor 61 beispielsweise zwischen 0 und 3,2 befindet, verlagert er sich nach rechts, um sich beim Punkt 21 zu stabilisieren, wobei er eine Antriebskraft liefert (Neigung 19). Wenn sich der Induktor 61 hingegen zwischen 16 und 12,8 befindet, verlagert er sich zum gleichen Punkt 21, wobei er eine Bremskraft liefert (Neigung 20). Die Kurve 18 des Diagramms der Figur 3 zeigt die Konfiguration der gesamten über eine Polteilung t_p erzeugten Reluktanz-Kraft F_r , wobei der Anker 60 8 Taschen aufweist. Die parasitäre Reluktanz-Kraft umfasst dann eine Wechselfolge von acht parasitären Maxima, die das richtige Funktionieren des Motors stören, wobei diese Kräfte in der Grössenordnung von 16 Newton sind. Es ist also verständlich, dass, wenn man nicht auf dieses Phänomen achtet, der Motor unbrauchbar werden kann, wobei die Reluktanz-Kraft dann die Maximalkraft, die der Motor liefern kann, wenn er mit Strom gespeist wird, übersteigen kann.

Aus dem Dokument DE 24 90 91 kennt man einen Generator mit Drehrad, dessen Anker Zähne mit konstantem Querschnitt aufweist, die von Spulen umgeben sind. Der Drehinduktor hat an seiner Peripherie Permanentmagneten, die beim Drehen einen variablen Magnetfluss in den Zähnen und einen Strom in den

Spulen erzeugen. Um die zwischen den Zähnen begrenzten Taschen zu schliessen, sind Blechplatten vorgesehen. Solche Blechplatten sind im allgemeinen aus magnetischen Materialien mit geringer Reluktanz gebildet, derart, dass die Taschen geschlossen sind und somit den Reluktanz-Effekt vermindern. Die Anordnung dieser Blechplatten kompliziert die Konstruktion des Ankers, ohne den Reluktanz-Effekt eines solchen Generators beachtlich zu vermindern. In dem Fall, wo die die Taschen bildenden Platten aus einem Material von hoher Reluktanz ausgeführt wären, wäre der Reluktanz-Effekt eines solchen Generators enorm, genauso wie im Fall, wo keine Blechplatten vorgesehen wären, da sich die auf den Taschen ruhenden Reluktanz-Effekte aufsummieren, wobei die Polteilung zwischen den Permanentmagneten gleich der Zahnteilung zwischen den Zähnen des Ankers ist. Es handelt sich um einen Einphasenspannungsgenerator, der nicht als Synchronmotor verwendet werden kann.

Um den Reluktanz-Effekt aufzuheben oder stark zu vermindern, besteht eine sehr verbreitete Technik darin, die den Anker 60 bildenden Bleche derart gegeneinander zu verschieben, dass in einem Schnitt wie demjenigen der Figur 1a die Längsachsen der Zähne 10 und der Taschen 2, die strichpunktiert dargestellt sind, einen von 90° verschiedenen Winkel mit der Verlagerungsrichtung y des auf dieser Figur 1a nicht sichtbaren Induktors 61 in Bezug auf den Anker 60 bilden. Es ist festzuhalten, dass auf Figur 1a, die ein Schnitt gemäss der Achse A-A der Figur 1 ist, die Wicklungen 4 und die isolierenden Folien 3, die in den Taschen 2 angeordnet sind, nicht dargestellt worden sind, und dass die den Anker 60 bildenden Bleche nicht separat gezeichnet worden sind.

Diese Verschiebungstechnik der den Anker 60 bildenden Bleche verursacht zusätzliche Schwierigkeiten, indem sie die Herstellungs-Werkzeugausrüstung kompliziert und indem sie das



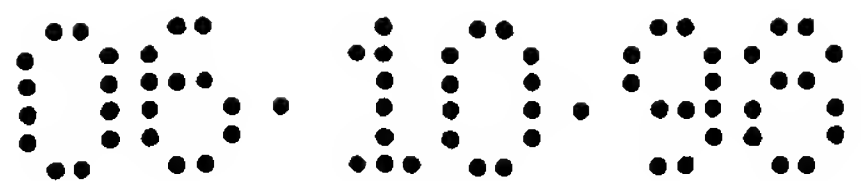
Einführen der Wicklungen 4 in die Taschen 2 schwieriger macht.

Eine andere Technik, die mit der vorhergehenden kombiniert werden kann, besteht darin, Magnete 8 schräg anzuordnen, d.h. derart, dass deren Kanten, die parallel zu der Ebene der Sohle 9 stehen, jeweils von 0° bzw. von 90° verschiedene Winkel mit der Verlagerungsrichtung y des Induktors 61 in Bezug auf den Anker 60 bilden. Diese Technik kompliziert ebenfalls die Herstellung der Motoren.

Zusätzlich zu den obenerwähnten Anordnungen versucht man auf jeden Fall immer, den Vortaschen 6 eine möglichst geringe Breite b_n zu geben, was zur Folge hat, dass der Spulvorgang kompliziert wird, denn die Spulen müssen wegen der sehr geringen Taschenbreite b_n vor der Montage lose angeordnet werden, um deren Einführen in die Tasche 2 über die Vortasche 6 zu ermöglichen. Diese lose Montage hat zur Folge, dass die die Wicklungen 4 bildenden Drähte sehr unregelmässig in den Taschen 2 angeordnet sind, woraus resultiert, dass der Füllungsgrad dieser Taschen 2 gering ist (in der Grössenordnung von 30%) und dass der Wärmewiderstand zwischen den Wicklungen 4 und dem Joch 1 gross ist. Diese Nachteile führen jeweils zu einem geringen Wirkungsgrad des Motors bzw. zu einer unzureichenden Wärmekapazität.

Um die weiter oben aufgezählten Nachteile zu beheben, ist der Motor der Erfindung, der die im ersten Abschnitt dieser Beschreibung aufgezählten Merkmale aufweist, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Zähne einen konstanten Querschnitt zwischen ihrem ersten Ende und ihrem zweiten Ende aufweisen, und dass das Verhältnis von der zweiten Breite und der Zahnteilung zwischen etwa 0.40 und 0.55 liegt.

Dank diesen Merkmalen, und wie dies weiter unten im Detail gezeigt wird, ist die globale Reluktanz-Kraft, die in einem Motor gemäss der vorliegenden Erfindung vorhanden ist,



viel geringer als diejenige, die in einem Motor des Standes der Technik vorhanden ist. Ferner ist die Herstellung eines Motors gemäss der vorliegenden Erfindung viel einfacher und somit billiger als diejenige eines Motors des Standes der Technik.

Weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von mehreren ihrer Ausführungsformen, welche nachstehend mit Hilfe der beigefügten Zeichnungen gemacht wird, die einzig als Beispiele gegeben sind, und in denen:

- Figur 1 ein partieller Schnitt eines linearen Synchronmotors gemäss dem in der Einleitung dieser Beschreibung besprochenen Stand der Technik ist,

- Figur 1a ein partieller Schnitt des Motors der Figur 1 gemäss der Achse A-A dieser Figur 1 ist,

- Figur 2 die Konfiguration der magnetischen Induktion B des Motors der Figur 1 zeigt,

- Figur 3 ein Diagramm ist, das die Reluktanz-Kraft darstellt, die einerseits durch eine einzige Tasche des Motors der Figur 1 und andererseits durch acht Taschen des gleichen Motors erzeugt wird,

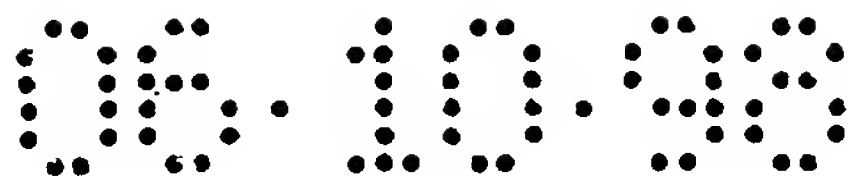
- Figur 4 ein partieller Schnitt eines linearen Synchronmotors gemäss der Erfindung und gemäss einer ersten Ausführungsform ist,

- Figur 4a ein partieller Schnitt des Motors der Figur 4 gemäss der Achse A-A dieser Figur 4 ist,

- Figur 5 die Konfiguration der magnetischen Induktion B des Motors der Figur 4 zeigt,

- Figur 6 ein Diagramm ist, das die Reluktanz-Kraft darstellt, die einerseits durch eine einzige Tasche des Motors der Figur 4 und andererseits durch acht Taschen des gleichen Motors erzeugt wird,

- Figur 7 ein Diagramm ist, das den Verlauf der Reluktanz-Kraft eines Synchronmotors der Erfindung in



Abhängigkeit vom Verhältnis von Taschenbreite und Zahnteilung darstellt,

- die Figuren 8 und 9 zwei Spularten eines Synchronmotors gemäss der Erfindung zeigen,

5 - Figur 10 ein partieller Schnitt in den Anker eines Synchronmotors der Erfindung gemäss einer zweiten Ausführungsform ist,

10 - die Figuren 11 und 12 eine dritte Ausführungsform des Motors gemäss der Erfindung zeigen, wobei die erste sie im Schnitt und die zweite in Perspektive zeigt,

- die Figuren 13 und 14 eine vierte Ausführungsform des Motors gemäss der Erfindung zeigen, die erste im Schnitt und die zweite in Perspektive, und

15 - Figur 15 ein partieller Schnitt eines Synchronrotationsmotors gemäss der Erfindung ist.

Figur 4 ist ein partieller Schnitt in einen gemäss der Erfindung und gemäss einer ersten Ausführungsform ausgeführten linearen Synchronmotor. Wie bei dem mit Hilfe der Figur 1 beschriebenen Motor des Standes der Technik
20 umfasst dieser Motor einen von einem Blechpaket gebildeten Anker 60, der ein Joch 1 und eine Vielzahl von Zähnen 25 umfasst, die ein erstes mit dem Joch 1 verbundenes Ende und ein zweites dem ersten gegenüberliegendes und einen Zahnkopf 62 bildendes Ende aufweisen. Die Zähne 25 sind regelmässig
25 mit einer Zahnteilung m angeordnet. Jeder Zahn 25 ist vom folgenden Zahn durch eine Tasche 2 getrennt, in der zum Beispiel die Wicklung 26 einer Spule, derart wie diejenigen, die auf Figur 8 mit dem Bezugszeichen 30 dargestellt sind, untergebracht ist. Die Höhe der Zähne 25, d.h. der Abstand
30 zwischen ihrem ersten und ihrem zweiten Ende, ist mit dem Bezugszeichen H bezeichnet.

Der Motor umfasst auch einen Induktor 61, der gegenüber den Zahnköpfen 62 angeordnet ist, wobei dieser Induktor 61 mit einer Vielzahl von Dauermagneten 8 in Form von Quadern
35 ausgerüstet ist, die regelmässig mit einer Polteilung p auf

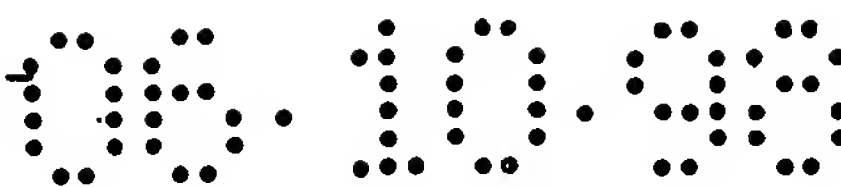
einer aus einem ferromagnetischen Material hergestellten ebenen Rückflusssohle 9 angeordnet sind. Der Induktor 61 und der Anker 60 sind durch einen Luftspalt 7 getrennt.

5 Gemäss der Erfindung haben die Zähne über ihre ganze
Höhe H einen konstanten Querschnitt. Man bemerkt nämlich,
dass die Flanken der Zähne 25 parallel sind und dass ihre
Köpfe 62 keine Zahnsohlen aufweisen, wie dies im auf Figur 1
(Bezugszeichen 10') gezeigten Motor des Standes der Technik
der Fall ist. Die Taschen sind also auf der Seite des
10 Induktors 61 im Gegensatz zu den sogenannten
"halbgeschlossenen" Taschen der Motoren des Standes der
Technik vollständig "offen". Ferner ist die Breite b_n der
Taschen 2 merklich gleich der Breite b_d der Zahnköpfe 62. Mit
anderen Worten, und da die Summe der Breiten b_d und b_n gleich
15 der Zahnteilung t_n ist, ist das Verhältnis b_n/t_n merklich
gleich 0,5. 'Merklich gleich' bedeutet, dass die Leistungen
eines Motors gemäss der Erfindung bei nur geringer Abweichung
vom Zentralwert von 0,5 noch zufriedenstellend sind. Gemäss
Experimenten, die bei dieser Motorart ausgeführt worden sind,
20 kann dieses Verhältnis b_n/t_n zwischen etwa 0,40 und 0,55
liegen.

Wenn man jetzt die dem Motor der Figur 4 entsprechende
Konfiguration der magnetischen Induktion B betrachtet, zeigt
Figur 5, dass diese Konfiguration stark gestört wird
25 (Bezugszeichen 27 und 28), und zwar viel stärker als
diejenige, die auf Figur 2 für den Motor des Standes der
Technik gezeigt ist, was logischerweise zu einem enormen
Reluktanz-Effekt führen müsste, der den Motor völlig
unbrauchbar machen würde. Man stellt nun fest, dass wenn der
30 durch eine Tasche erzeugte Reluktanz-Effekt (wenn
beispielsweise der Anker nur eine Tasche hat) tatsächlich
sehr gross ist, der durch mehrere aufeinanderfolgende Taschen
erzeugte Reluktanz-Effekt auf einen Wert herabgesetzt ist,
der viel niedriger ist als derjenige, der auf dem Motor des
35 Standes der Technik festgestellt worden ist.

Dieses Phänomen wird durch das Diagramm der Figur 6 illustriert. Dieses Diagramm basiert auf einem Motor, der eine Zahnteilung t_n von 12 mm und eine Polteilung t_p von 16 mm (also identisch mit denjenigen des obenerwähnten Motors des Standes der Technik) aufweist. Die Öffnung b_n weist hier jedoch 6,3 mm auf, und das Verhältnis b_n/t_n beträgt also 0,525. Im Diagramm der Figur 6 ist die Polteilung t_p in mm auf der Abszisse und die Reluktanz-Kraft in Newton auf der Ordinate angegeben. Die Kurve 35 des Diagramms zeigt die Konfiguration der Reluktanz-Kraft, die erzeugt würde, wenn der Anker 60 nur eine einzige Tasche hätte, oder der elementaren Reluktanz-Kraft, die ebenfalls zwei instabile Punkte 33 und 33' sowie einen stabilen Punkt 34 aufweist. Diese elementare Reluktanz-Kraft hat eine beachtliche Amplitude, die wie voraussehbar grösser als 60 N ist. Der Verlauf der Kurve 35 kommt jedoch einer Sinuskurve nahe, was dadurch erklärbar ist, dass die Taschenbreite b_n merklich gleich der Breite b_d des Zahnkopfs 62 ist. Jede der Taschen 2 des Motors der Figur 4 erzeugt natürlich eine elementare Reluktanz-Kraft, deren Verlauf ähnlich wie derjenige ist, welcher durch die Kurve 35 der Figur 6 dargestellt ist, und die diese elementaren Reluktanz-Kräfte darstellenden Kurven, die nicht gezeichnet worden sind, sind gegeneinander in der Richtung der Achse y verschoben.

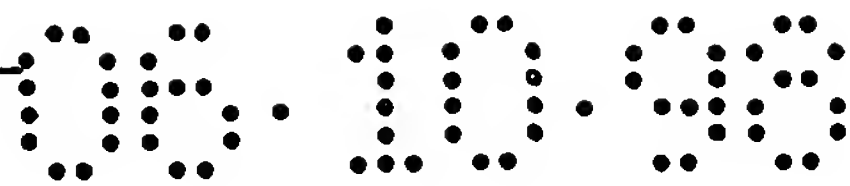
Die globale Reluktanz-Kraft, die in einem Motor, wie dem Motor der Figur 4, wirkt, ist natürlich gleich der Summe der soeben erwähnten elementaren Reluktanz-Kräfte. Da jede dieser letzteren einen Verlauf aufweist, der einer Sinuskurve nahekommt, wird deren Summe sehr gering. Somit stellt die Kurve 3b der Figur 6 die globale Reluktanz-Kraft dar, die in einem solchen Motor wie auf Figur 4, der acht Taschen 2 und sechs Magnete 8 umfasst, wirkt. Diese Kurve 36 zeigt, dass die globale Reluktanz-Kraft in diesem Fall ungefähr 1 N beträgt, während diese globale Reluktanz-Kraft für den gleichen in der Einleitung dieser Beschreibung betrachteten



5 Motortypus, der jedoch Vortaschen aufweist, in der Grössenordnung von 16 N war. Man erkennt also hier die beachtlichen Vorteile, die der gemäss der Erfindung ausgeführte Motor nach sich zieht, welcher, wie bereits gesagt, dadurch vorzüglich ist, dass er offene Taschen besitzt, deren Breite merklich gleich der Breite des Zahns ist, wobei dieser letztere ferner über seine ganze Höhe einen konstanten Querschnitt aufweist.

10 Das Diagramm der Figur 7 fasst gut alles zusammen, was bisher jetzt gesagt worden ist. Dieses Diagramm wird für einen Motor erstellt, der das gleiche Verhältnis von Polteilung τ_p und Zahnteilung τ_n hat, nämlich beispielsweise 16mm bzw. 12mm. Man gibt das Verhältnis b_n/τ_n auf der Abszisse an, wobei die Zahnteilung τ_n konstant gehalten wird, 15 mit anderen Worten lässt man die Taschenbreite b_n in Bezug auf die Zahnteilung τ_n wachsen. Die gemäss dem Stand der Technik konstruierten Motoren befinden sich im Bereich 41, in dem die globale Reluktanz-Kraft F_r zunimmt (Teil 40 der Kurve), wenn b_n/τ_n zunimmt. Gemäss einem vom Fachmann 20 allgemein anerkannten Konzept, kann diese globale Reluktanz-Kraft F_r nur weiterhin zunehmen (Teil 42 der Kurve), wenn die Taschenbreite b_n zunimmt. Der Anmelder der vorliegenden Erfindung hat jedoch gezeigt, dass diese Kraft durch ein Maximum läuft und dann abnimmt (Teil 43 der Kurve) um ein 25 Minimum im Bereich 45 zu erreichen, wo die Taschenbreite b_n merklich gleich einer halben Zahnteilung τ_n ist und wo sich die Motoren gemäss der vorliegenden Erfindung befinden. Ab diesem Bereich 45 nimmt die globale Reluktanz-Kraft F_r wieder gemäss dem Teil 46 der Kurve zu.

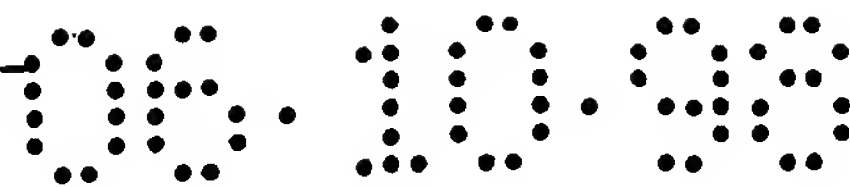
30 Zusammenfassend ist der Bereich 41 derjenige der Motoren mit halbgeschlossenen Taschen des Stands der Technik, während der Bereich 45 derjenige der Motoren mit offenen Taschen ist, die Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind.



Es ist verständlich, dass die Verminderung des Reluktanz-Effekts um so besser ist, je grösser die Anzahl Taschen ist. Wenn die Rotationsmotoren von mittlerer bis grosser Grösse (von 0,1 bis 1m und mehr) leicht eine grosse Anzahl von Taschen aufweisen, die ermöglichen, den Reluktanz-Effekt beachtlich zu vermindern, so ist dies schwieriger für die linearen Motoren, deren Gesamtlänge im allgemeinen zwischen 0,1 und 0,5m liegt und die somit eine relativ verminderte Anzahl von Taschen aufweisen.

10 Im Fall eines solchen linearen Motors kann man den Eingangs- und Ausgangszahn des Ankers nutzbringend verwenden, welche Zähne im allgemeinen je mit einer Abschrägung versehen sind, um die globale Reluktanz-Kraft noch mehr zu vermindern. Die Dimensionierung des Eingangs- und Ausgangszahn ist
15 bereits in der spezialisierten Literatur besprochen worden. Der interessierte Leser kann die These von Nicolas Wavre Nr. 219 mit dem Titel: "Etude harmonique tridimensionnelle des moteurs linéaires asynchrones à bobinages polyphasés quelconques", Lausanne EPFL, 1975, konsultieren. Man wählt
20 nämlich die Abmessungen der Endzähne sowie den Winkel ihrer Abschrägung derart, dass man eine Reluktanz-Kraft erhält, deren Form und deren Amplitude mit denjenigen der durch die Taschen verursachten Reluktanz-Kraft vergleichbar sind, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen. Man kann somit den
25 globalen Reluktanz-Effekt beachtlich vermindern. Die geringe Anzahl von Taschen der linearen Motoren in Bezug auf die Rotationsmotoren wird somit durch eine sinnvolle Nutzung des Effekts der Enden kompensiert, der die Verwendung von offenen Taschen noch interessanter für die linearen Motoren als für
30 die Umlaufmotoren macht.

Da der Reluktanz-Effekt in einem Motor gemäss der Erfindung viel geringer ist als in einem Motor des Standes der Technik, ist es nicht mehr nötig, ihn durch Kunstgriffe, wie diejenigen, die weiter oben beschrieben worden sind, zu
35 kompensieren. In einem Motor gemäss der Erfindung können

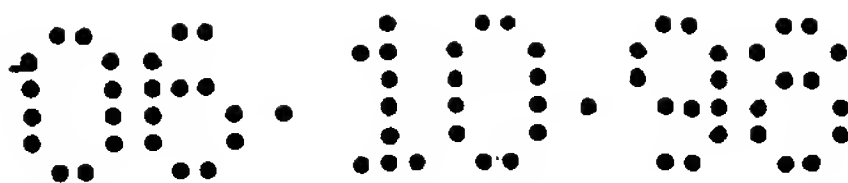


somit die den Anker 60 bildenden Bleche derart miteinander angeordnet sein, dass in einem Schnitt, wie demjenigen der Figur 4a, die Längsachsen der Zähne 10 und der Taschen 2, die strichpunktiert dargestellt sind, senkrecht zu der Verlagerungsrichtung y des auf dieser Figur 4a nicht sichtbaren Induktors 61 in Bezug auf den Anker 60 verlaufen. Es resultiert aus dieser Anordnung eine erhebliche Vereinfachung der für das Fügen der den Anker 60 bildenden Bleche verwendeten Werkzeugausrüstung.

Es ist festzuhalten, dass auf Figur 4a, welche ein Schnitt gemäss der Achse A-A der Figur 4 ist, die Wicklungen 26 nicht dargestellt worden sind und dass die den Anker 60 bildenden Bleche nicht separat gezeichnet worden sind.

Ebenso können die Magnete 8 derart angeordnet sein, dass deren zu der Ebene der Sohle 9 parallele Kanten jeweils parallel bzw. senkrecht zu der Verlagerungsrichtung y stehen. Aus dieser Anordnung resultiert eine Vereinfachung der für das Fügen der Magnete 8 und der Sohle 9 verwendeten Werkzeugausrüstung.

Zusätzlich zum Interesse, eine sehr geringe globale Reluktanz-Kraft F_r zu erhalten, hat die Tatsache, dass die Zähne 25 des Motors gemäss der Erfindung über ihre ganze Höhe H einen konstanten Querschnitt haben und keine Zahnsohle wie die Zahnsohlen 10' des auf Figur 1 dargestellten Motors des Standes der Technik aufweisen, noch den Vorteil, eine geordnete und kompakte Wicklung der die Spulen bildenden Windungen zu ermöglichen, welche Windungen somit aneinanderliegend sein können, wie dies auf Figur 4 sichtbar ist. Dies ermöglicht, einen Füllungsgrad der Taschen 2 zu erreichen, der mindestens gleich oder sogar grösser als 60 % ist, was einerseits den Wirkungsgrad des Motors verbessert und andererseits eine einfachere Abführung der durch ihn erzeugten Wärme ermöglicht. Im Motor gemäss der Erfindung umgibt jede Spule nur einen einzigen Zahn, und zwar ebenfalls



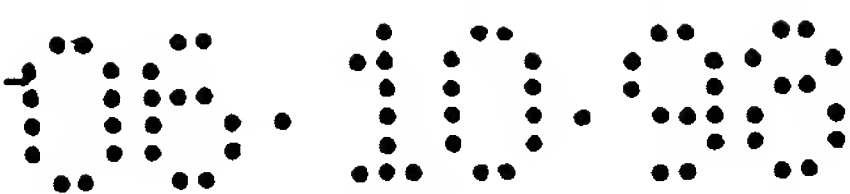
mit dem Ziel, den Wirkungsgrad zu verbessern, da die Länge der Spulenköpfe somit vermindert wird, was die Kupferverluste herabsetzt.

5 Da die Zähne 25 über ihre ganze Höhe H einen konstanten Querschnitt aufweisen, sind die Taschen 2 also vollständig offen, was das Einführen von vorgeformten Spulen ermöglicht. Um diese Spulen herzustellen, wickelt man die sie bildenden Drähte zu aneinanderliegenden Windungen auf eine unabhängige Schablone mit rechteckigem Kern, dessen Querschnitt merklich
10 gleich dem Querschnitt des Zahns 25 ist. Der verwendete Draht ist im allgemeinen mit einem Leim überzogen, der warm polymerisierend ist. Wenn die Wicklung beendet ist, lässt man im Draht Strom fließen, um ihn zu erwärmen und die Windungen miteinander zu verkleben. Die somit kompakt gemachte Spule
15 kann von der Schablone abgenommen werden und dann als Ganzes auf einem Zahn 25 des Ankers angebracht werden.

Die Figuren 8 und 9 zeigen jeweils den Anker 60 eines Synchronmotors gemäss der Erfindung. Im Anker 60 der Figur 8 umgibt jede Spule 30 einen einzigen Zahn 25 und nimmt
20 merklich vollständig zwei an den von der Spule umgebenen Zahn 25 angrenzende Taschen 2 ein. Daraus resultiert natürlich, dass nur jeder zweite Zahn 25 von einer Spule 30 umgeben ist.

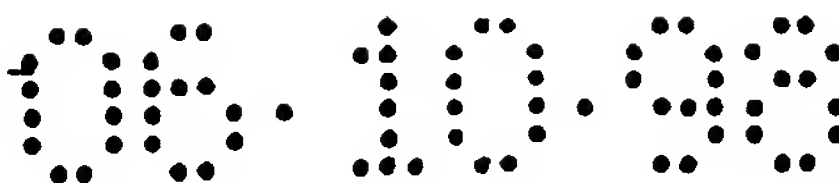
Im Anker 60 der Figur 9 umgibt jede Spule 31 ebenfalls nur einen einzigen Zahn 25, aber alle Zähne 25 sind von einer
25 Spule 31 umgeben. Daraus resultiert natürlich, dass zwei aneinanderliegende Spulen zusammen merklich vollständig die Tasche 2 einnehmen, die die beiden von den Spulen umgebenen Zähne 25 trennt.

Die Figuren 10 bis 14 beziehen sich insbesondere auf
30 die Art und Weise, wie die Wicklungen 26 vom Anker 60 isoliert werden und wie die durch diese Wicklungen 26 erzeugte Wärme abgeführt wird.



Figur 10 zeigt einen Anker 60, der mit Wicklungen 26 versehen ist, die gemäss dem weiter oben beschriebenen Verfahren in die Taschen 2 eingeführt sind. Die Figur zeigt, dass sich auf dem Boden der Tasche 2 ein zwischen dem Joch 1 und der Wicklung 26 angeordnetes Rohr 11 befindet, in dem eine Kühlflüssigkeit 50 zirkuliert. Dieses Kühlsystem ermöglicht, die durch die Wicklung 26 erzeugte Wärme schnell nach aussen abzuführen. Es ist zu bemerken, dass, da die Taschen 2 gerade und offen sind, die Rohre 11 im voraus mit Umlegungen an den Enden (nicht dargestellt) vorbereitet werden können, um ein Art Kühlschlange zu bilden. Es ist festzuhalten, dass, wenn diese Kühlerart im Motor des Standes der Technik (Figur 1) verwendet würde, die Rohre 11 erst nach dem Einführen in die Taschen 2 miteinander verbunden werden müssten, da die engen Vortaschen 6 den Durchlass der Rohre 11 nicht ermöglichen, was die Montage des Motors beachtlich komplizieren würde. Figur 10 zeigt ebenfalls eine isolierende Folie 3, die zwischen der Wicklung 26 und dem Zahn 25 angeordnet ist und sehr leicht in die Tasche 2 eingeführt werden kann, da diese letztere offen ist.

Figur 11 zeigt eine Anordnung, die derjenigen der Figur 10 sehr ähnlich ist, und in der man das Kühlrohr 11 und die isolierende Folie 3 vorfindet. Figur 11 zeigt zusätzlich, dass das Rohr 11 mindestens teilweise von einer auf Figur 12 in Perspektive dargestellten Folie 12 umgeben ist, welche ferner zwischen dem Zahn 25 und der Wicklung 26 eingezwängt ist und sich bis zum Kopf 62 des Zahns 25 erstreckt. Diese Folie 12 dient als Mittel zur Wärmeübertragung zwischen der Wicklung 26 und dem Kühlrohr 11. Diese Folie ist aus einem wärmeleitenden Material, wie aus Kupfer oder Aluminium oder aus einem Compositwerkstoff, wie beispielsweise aus Kohlenstoff-Faser, hergestellt. Wenn die Folie aus Aluminium hergestellt ist, kann es oxydiert sein, was ermöglicht, die isolierende Folie 3 wegzulassen und dadurch den Wärmewiderstand noch weiter herabzusetzen.

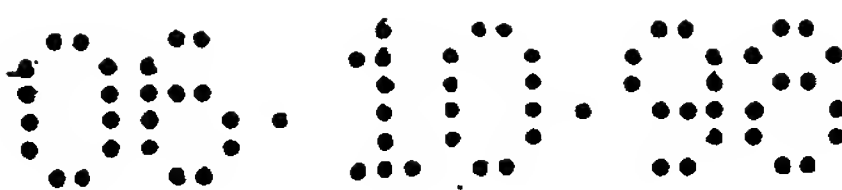


Man kann jedoch beobachten, dass, wenn die Folie 12 metallisch und somit elektrisch leitend ist, der Streufluss der Taschen 2 darin Wirbelströme erzeugt. In allen Synchronmotoren, deren Taschen relativ tief sein können, kann die Taschen-Streuinduktivität dann zur Hauptinduktanz werden, was im allgemeinen ein Nachteil ist. Eines der Mittel, um die Taschen-Streuinduktivität zu vermindern, besteht gerade darin, die Folie zur Wärmeübertragung 12 ebenfalls als Abschirmung gegen die Taschen-Streuinduktivität zu verwenden. Wenn diese Abschirmung zu gross wird, passt man ihre Wirkung an, indem man Rillen 13, wie diejenigen der Figur 12, vorsieht. Diese Rillen 13, wie auch die Bleche der elektrischen Motoren, vermindern die Bedeutung der Wirbelströme. Eine hohe Anzahl Rillen ermöglicht, diese Wirbelströme auszuschalten, ohne die Wärmeübertragungskapazität beachtlich zu vermindern. Es ist festzuhalten, dass man für die Folie 12 eine Legierung verwenden kann, die ein guter Kompromiss zwischen ihrer thermischen Leitfähigkeit und ihrer elektrischen Leitfähigkeit ist.

Die Figuren 13 und 14 stellen eine Variante der auf den Figuren 11 und 12 dargestellten Lösung dar. Das Kühlsystem 14 der Figuren 13 und 14 kombiniert die leitende Folie 12 und das Kühlrohr 11 der Figuren 11 und 12 in einem einzigen Teil. Dieses System 14 kann zum Beispiel aus Aluminiumprofil hergestellt sein.

Die obenstehende Beschreibung betrifft insbesondere einen linearen Synchronmotor, aber die allgemeinen Prinzipien der Erfindung können natürlich auch auf einen Synchronrotationsmotor angewendet werden.

Figur 15 stellt schematisch und teilweise einen Synchronrotationsmotor gemäss der vorliegenden Erfindung dar, dessen Rotor 50 den Induktor 61 bildet. Dieser Rotor 50 ist nur sehr schematisch durch einen seine Peripherie symbolisierenden Kreis und durch seine Welle 55 dargestellt



worden, aber er umfasst natürlich auch eine Vielzahl von Permanentmagneten, die ähnlich wie die Magnete 8 des Motors der Figur 4 sind und wie diese letzteren auf einer Rückflusssohle aus einem ferromagnetischen Material angeordnet sind.

Der Stator des Motors der Figur 15 bildet seinen Anker 60 und umfasst ein Joch 1 und eine Vielzahl von identischen Zähnen, die abwechselnd mit den Bezugszeichen 51 und 51' bezeichnet sind. In diesem Beispiel sind 12 solche Zähne 51, 51' vorhanden, und sie haben alle ein erstes Ende, das mit dem Joch 1 verbunden ist, und ein zweites Ende, das dem ersten entgegengesetzt ist und einen Zahnkopf 62 bildet, der gegenüber dem Rotor 50 liegt.

Die Zähne 51, 51' sind regelmässig mit einer Zahnteilung m angeordnet und begrenzen zwischen einander Taschen 2, in welchen Spulen 52 und 53 untergebracht sind.

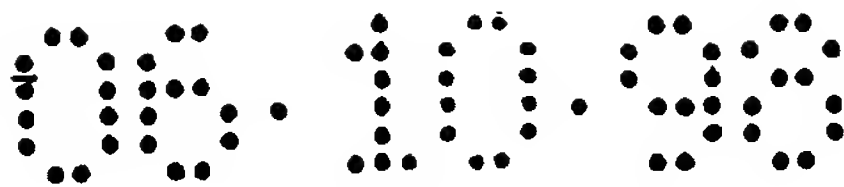
Gemäss der Erfindung haben die Zähne 51, 51' über ihre ganze Höhe H einen konstanten Querschnitt, und ihre Breite b_d ist merklich gleich der Breite b_n , welche die Taschen 2 in Höhe der Zahnköpfe 62 aufweisen. Mit anderen Worten ist das Verhältnis b_n/m ebenfalls merklich gleich 0,5.

Diese Merkmale verleihen dem Rotationsmotor der Figur 15 in Bezug auf die bekannten Motoren von gleicher Art dieselben Vorteile wie diejenigen, die weiter oben im Fall von linearen Motoren beschrieben worden sind. Insbesondere das aus dem Vorhandensein der Taschen 2 resultierende globale Reluktanzmoment C_r ist in einem Motor gemäss der vorliegenden Erfindung viel geringer als in einem bekannten Motor, wie dies aus den Figuren 3, 6 und 7 hervorgeht, die auch in diesem Fall gültig sind und in denen dieses Reluktanzmoment in Newton-Meter ausgedrückt ist.

Man kann feststellen, dass dies, wenn die Zähne 51 und 51' einen konstanten Querschnitt aufweisen, für die Taschen 2

nicht mehr zutrifft, die sich erweitern, je näher man dem Joch 1 kommt, wobei diese Konfiguration umso deutlicher wird, als der Durchmesser des Motors vermindert ist. Um den in der Tasche zur Verfügung gestellten Raum besser zu besetzen, wobei man sich stets die Idee zunutze macht, im voraus die Spulen auf einer Schablone vorzuformen, bereitet man eine Serie von Spulen mit rechteckigem Querschnitt 52 und eine Serie von Spulen mit trapezförmigem Querschnitt 53 auf einer unabhängigen Spule mit rechteckigem Kern vor, dessen Querschnitt merklich gleich dem Querschnitt der Zähne 51, 51' ist. Nachdem man die Spulen von den Schablonen abgenommen hat, setzt man zuerst jede der Spulen mit trapezförmigem Querschnitt 53 auf einen der Zähne des Ankers 60, wobei jeder zweite dieser Zähne freigelassen wird. Im Beispiel der Figur 15 werden diese Spulen 53 auf die Zähne 51' gesetzt, wobei die Zähne 51 freigelassen werden. Man setzt dann jede der Spulen mit rechteckigem Querschnitt 52 auf die beim Anbringen der Spulen mit trapezförmigem Querschnitt 53 freigelassenen Zähne, d.h. im vorliegenden Beispiel auf die Zähne 51. Man füllt somit bestmöglich den in den Taschen 2 zur Verfügung stehenden Raum aus.

Der Raum 54, der nach dem Aufsetzen der Spulen 52 und 53 vorhanden ist, kann verwendet werden, um darin ein Kühlsystem unterzubringen, zum Beispiel eines der mit Hilfe der Figuren 10 bis 14 beschriebenen Systeme. Es ist jedoch selbstverständlich, dass für viele Motoren einzig Spulen mit rechteckigem Querschnitt eingesetzt werden, insbesondere für die Motoren mit grossem Durchmesser.



Patentansprüche

1. Synchronmotor umfassend:

- einen Anker (60), der aus einem Joch (1) und einer
5 Vielzahl von Zähnen (25; 51, 51') gebildet ist, die an diesem
Joch befestigt sind und die miteinander Taschen (2) bilden;

- eine Vielzahl von Spulen (30, 31; 52, 53), die in den
Taschen derart angeordnet sind, daß jede zumindest einen der
Zähne umgibt;

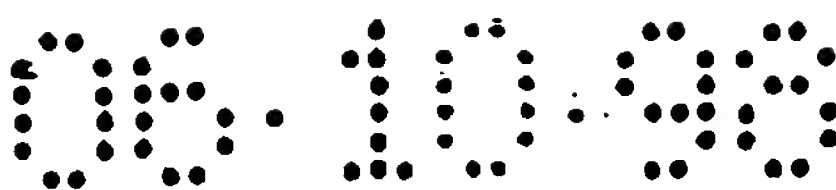
10 - einen Induktor (61), der gegenüber dem Anker
angeordnet ist und eine Vielzahl von Permanentmagneten (8)
umfaßt, die auf einer Rückflußsohle (9) angeordnet sind;

wobei die Vielzahl von Zähnen mit einer bestimmten
Zahnteilung (t_n) und die Vielzahl von Permanentmagneten mit
15 einer bestimmten Polteilung (τ_p) regelmäßig angeordnet sind,

die Zähne jeweils an ihrem freien Ende einen Kopf (62)
bilden, der eine erste Breite (b_d) aufweist, die Taschen
jeweils eine zweite Breite (b_n) in Höhe der Köpfe der Zähne
aufweisen und die Summe der ersten und zweiten Breite die
20 Zahnteilung bestimmt, wobei dieser Motor dadurch
gekennzeichnet ist, daß sich die Polteilung von der
Zahnteilung unterscheidet und daß das Verhältnis von zweiter
Breite (b_n) und Zahnteilung (t_n) zwischen etwa 0,40 und 0,55
liegt.

25 2. Synchronmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Zähne (25; 51, 51') jeweils zwei Flanken bilden, die
merklich parallel zueinander verlaufen, so daß ihr
Querschnitt über ihre gesamte Höhe (H) merklich konstant ist.

30 3. Synchronmotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, daß jede Spule (30) einen einzigen der Zähne
(25; 51, 51') umgibt und dabei zwei an den jeweiligen von der
Spule umgebenen Zahn (25; 51, 51') angrenzende Taschen (2)



merklich vollständig einnimmt, wobei nur jeder zweite der Zähne (25; 51, 51') von einer der Spulen (30) umgeben ist.

5 4. Synchronmotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Zähne (25; 51, 51') von einer der Spulen (31) umgeben wird, wobei zwei benachbarte Spulen merklich die gesamte Tasche (2) einnehmen, welche die Zähne voneinander trennt, die von den Spulen umgeben sind.

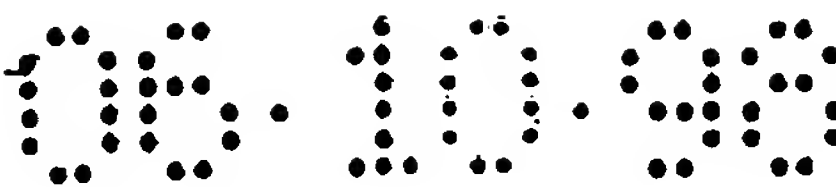
10 5. Synchronmotor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Breite (bd) und die zweite Breite (bn) merklich gleich sind.

15 6. Synchronmotor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er zudem Kühlmittel aufweist, welche eine Vielzahl von Rohren (11) umfassen, die sich jeweils in einer der Taschen (2) zwischen dem Joch (1) und der Spule (30; 31; 52, 53) befinden, welche in dieser Tasche (2) angeordnet ist, wobei die Rohre (11) so miteinander verbunden sind, daß sie eine Kühlschlange bilden, welche die Zirkulation einer Kühlflüssigkeit (50) erlaubt.

20 7. Synchronmotor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlmittel zusätzlich eine Vielzahl von Folien (12) zur Wärmeübertragung aufweisen, wobei jede der Folien (12) in einer der Taschen (2) angeordnet ist und mindestens teilweise das in dieser Tasche (2) angeordnete Rohr (11) umgibt und außerdem zwischen einem der Zähne (25; 51, 51'), die diese
25 Tasche (2) begrenzen, und der in dieser Tasche (2) angeordneten Spule (30; 31; 52, 53) eingezwängt ist.

8. Synchronmotor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um einen Linearmotor handelt.

30 9. Synchronmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um einen Rotationsmotor handelt, der einen Stator, welcher durch den Anker (60)



gebildet wird, und einen Rotor besitzt, der durch den Induktor (61) gebildet wird.

5 10. Synchronmotor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (60) eine gerade Anzahl von Zähnen (51, 51') besitzt, die jeweils von einer der Spulen (52, 53) umgeben sind, wobei von zwei benachbarten Zähnen (51, 51') der eine von einer Spule (52) mit einem wenigstens merklich rechtwinkligen Querschnitt und der andere von einer Spule (53) mit einem wenigstens merklich trapezförmigen Querschnitt
10 umgeben ist.

11. Verfahren zur Herstellung und zum Einbau von Spulen (52, 53), die den Rotationsmotor von Anspruch 9 ausrüsten, dadurch gekennzeichnet, daß es die Abfolge folgender Schritte aufweist:

15 - man wickelt die Drähte, die jeweils Spulen (52) mit rechteckigem Querschnitt bilden, zu aneinanderliegenden Windungen auf eine unabhängige Schablone mit rechteckigem Kern, dessen Querschnitt merklich gleich dem Querschnitt jedes der Zähne (51, 51') ist, um eine kompakte und
20 vorgeformte Spule zu erhalten,

- man wickelt die Drähte, die jeweils Spulen (53) mit trapezförmigem Querschnitt bilden, zu aneinanderliegenden Windungen auf eine unabhängige Schablone mit rechteckigem Kern, dessen Querschnitt merklich gleich dem Querschnitt
25 jedes der Zähne (51, 51') ist, um eine kompakte und vorgeformte Spule zu erhalten,

- man setzt jede der Spulen (53) mit trapezförmigem Querschnitt auf einen der Zähne (51'), wobei jeder zweite der Zähne (51) frei gelassen wird, und

30 - man setzt jede der Spulen (52) mit rechtwinkligem Querschnitt jeweils auf einen der Zähne (51), die im vorangehenden Schritt frei gelassen wurden.

(STAND DER TECHNIK)

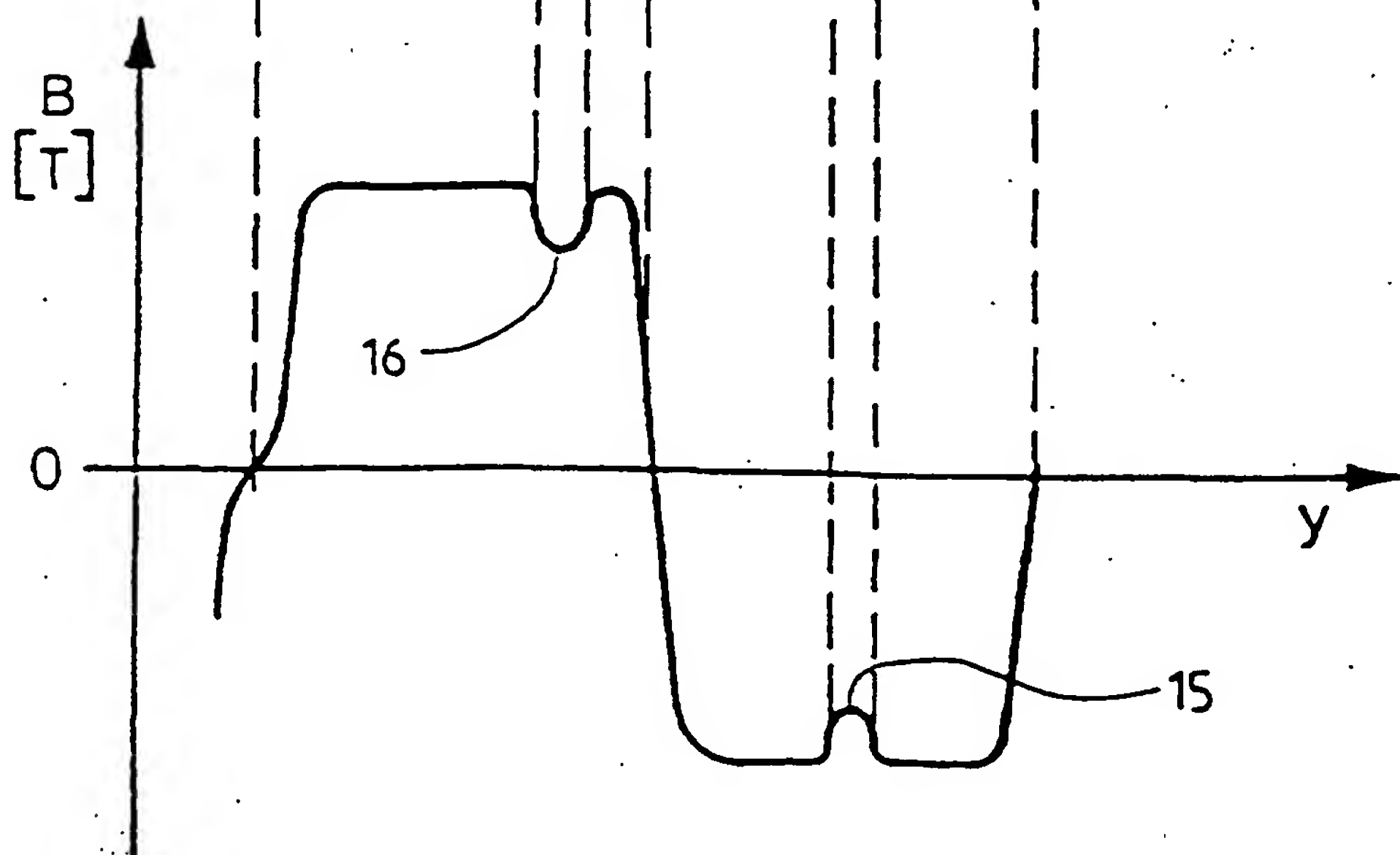


Fig. 3

(STAND DER TECHNIK)

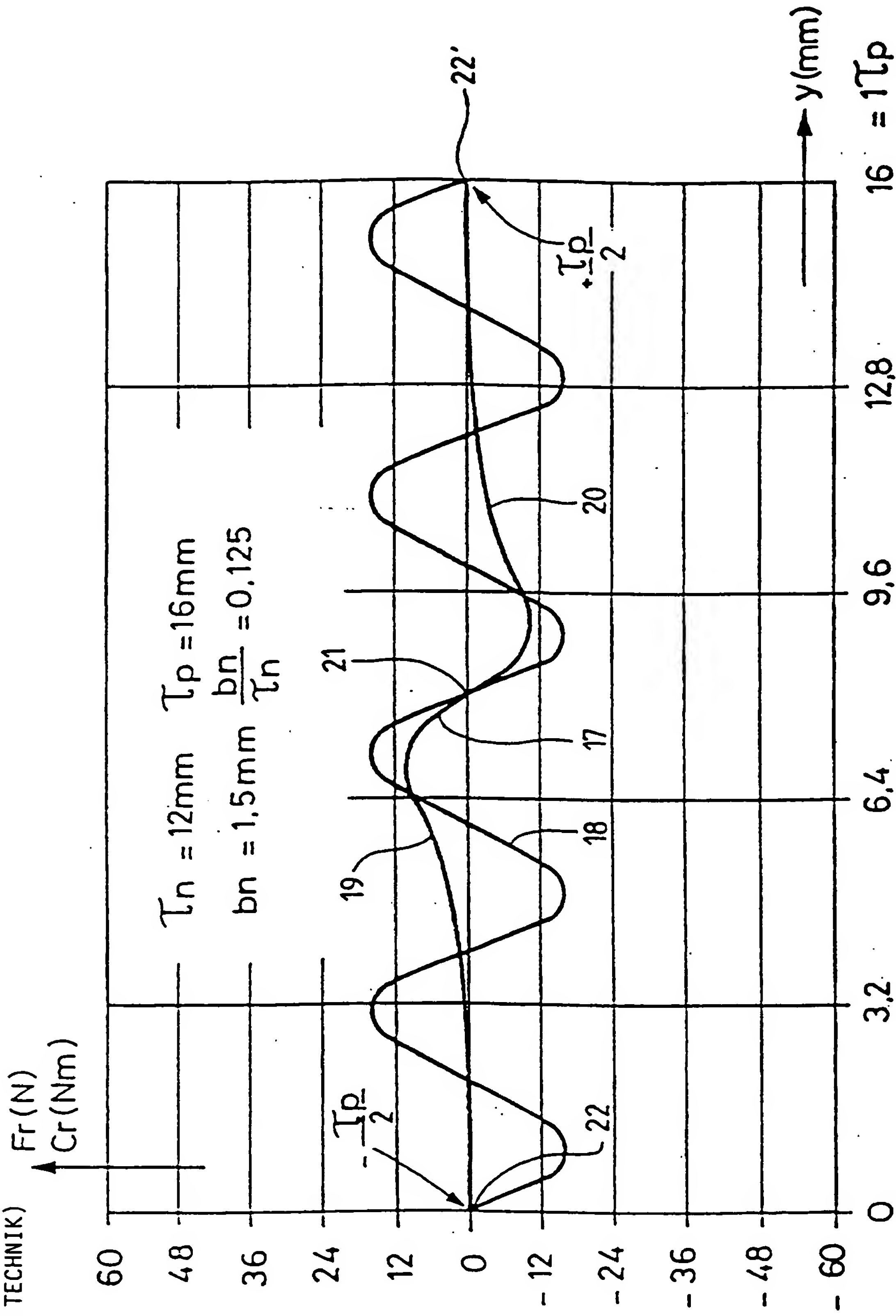


Fig. 4

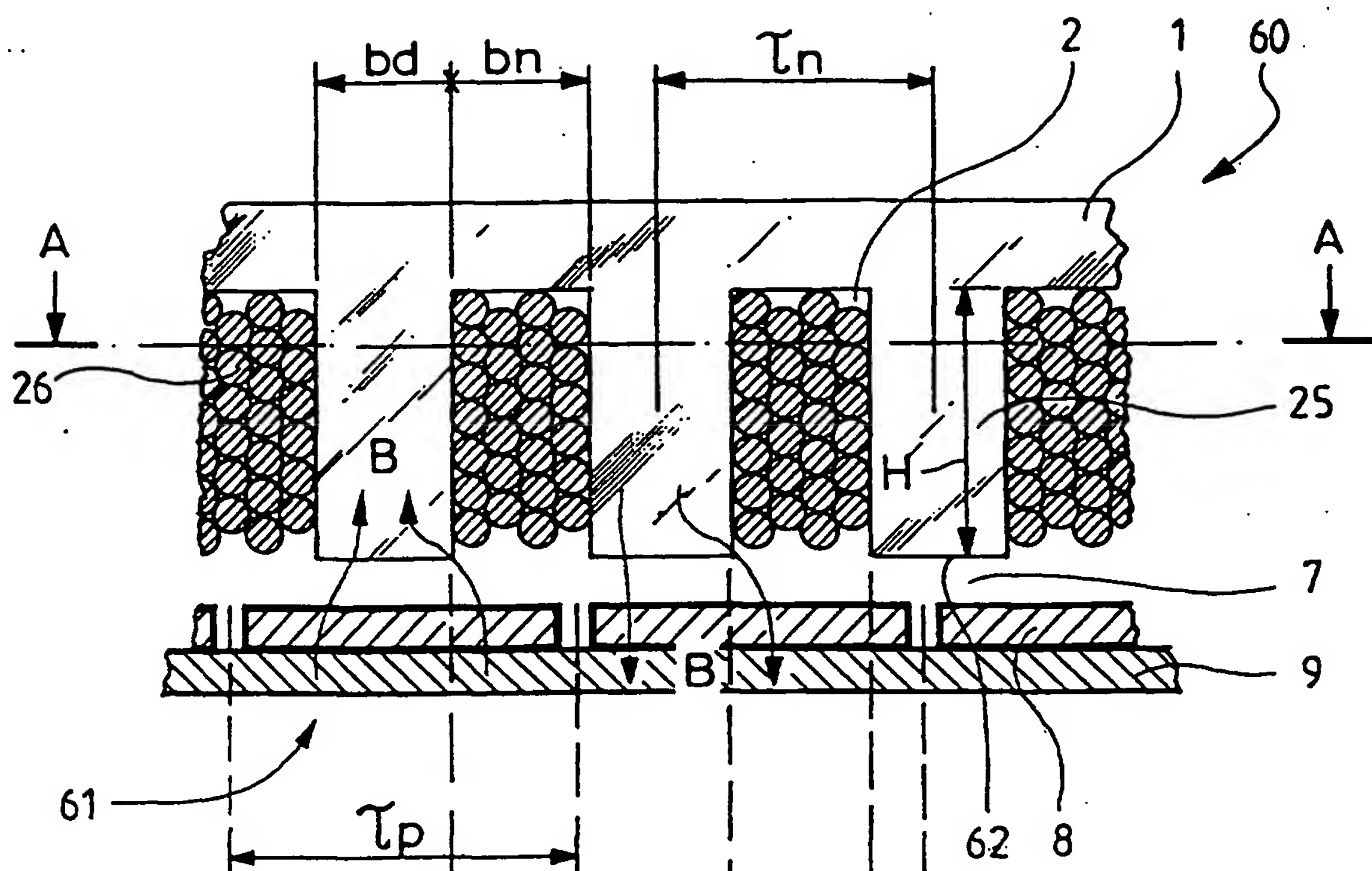


Fig. 5

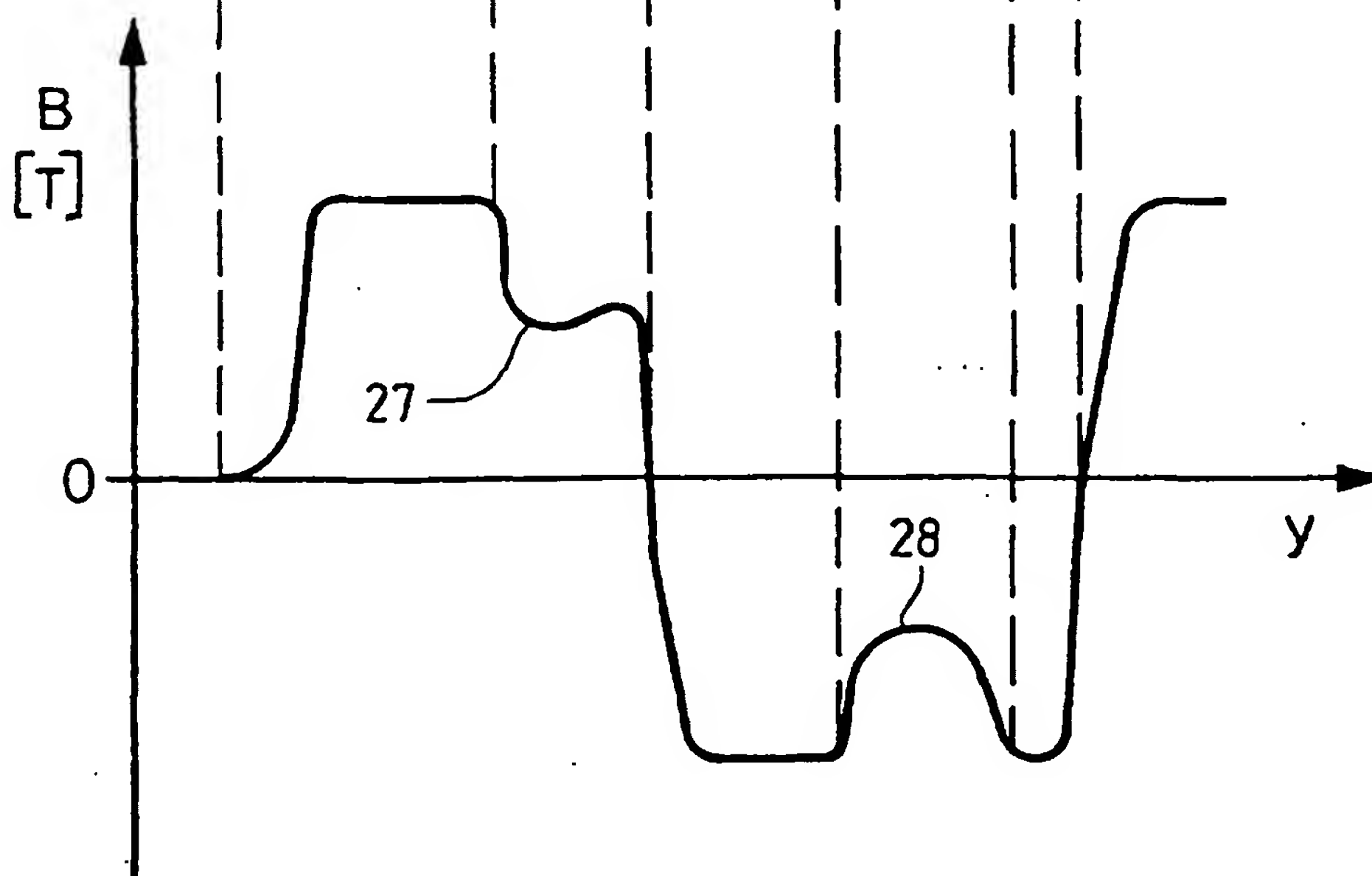


Fig. 1a

(STAND DER TECHNIK)

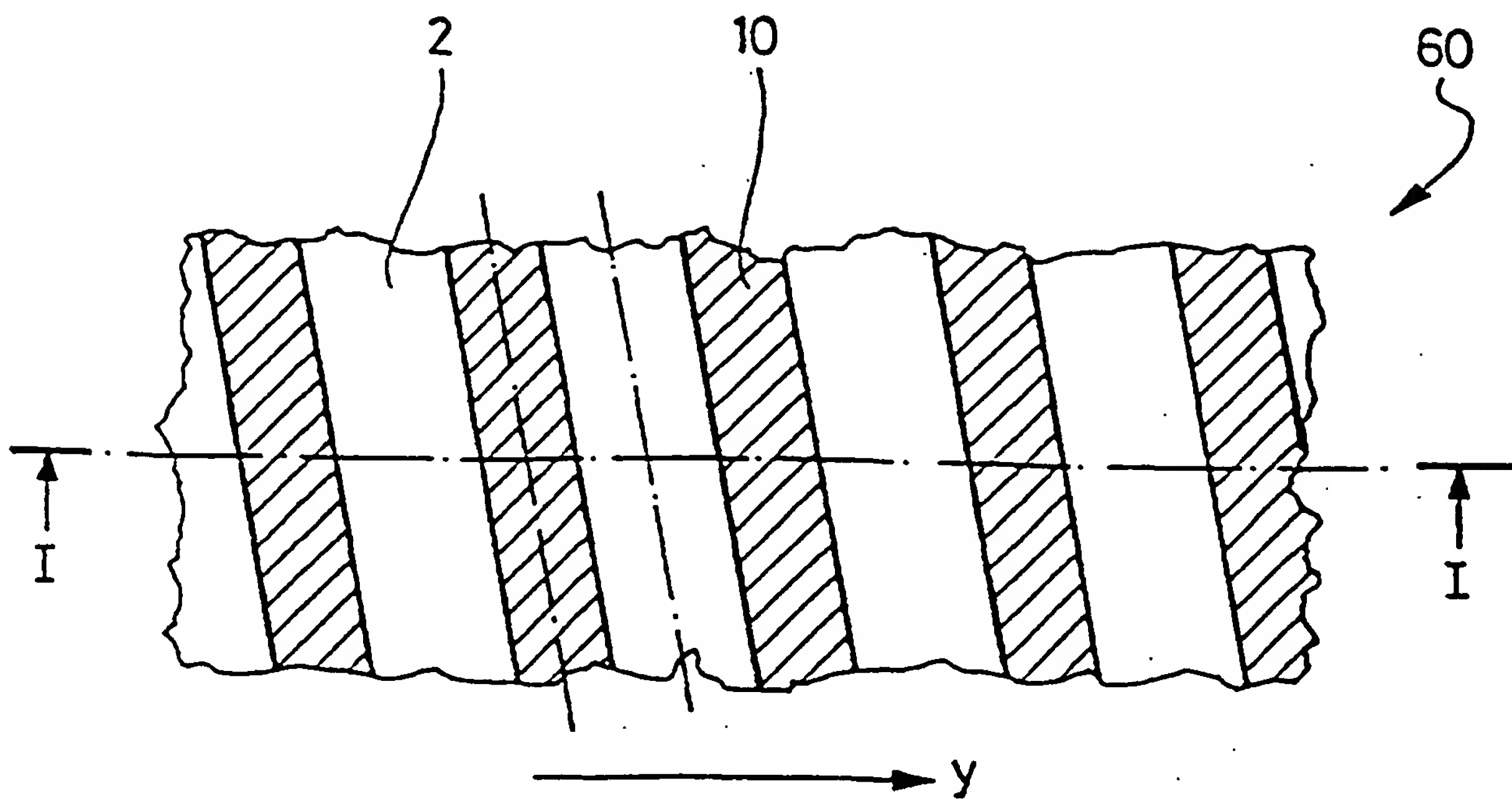


Fig. 4a

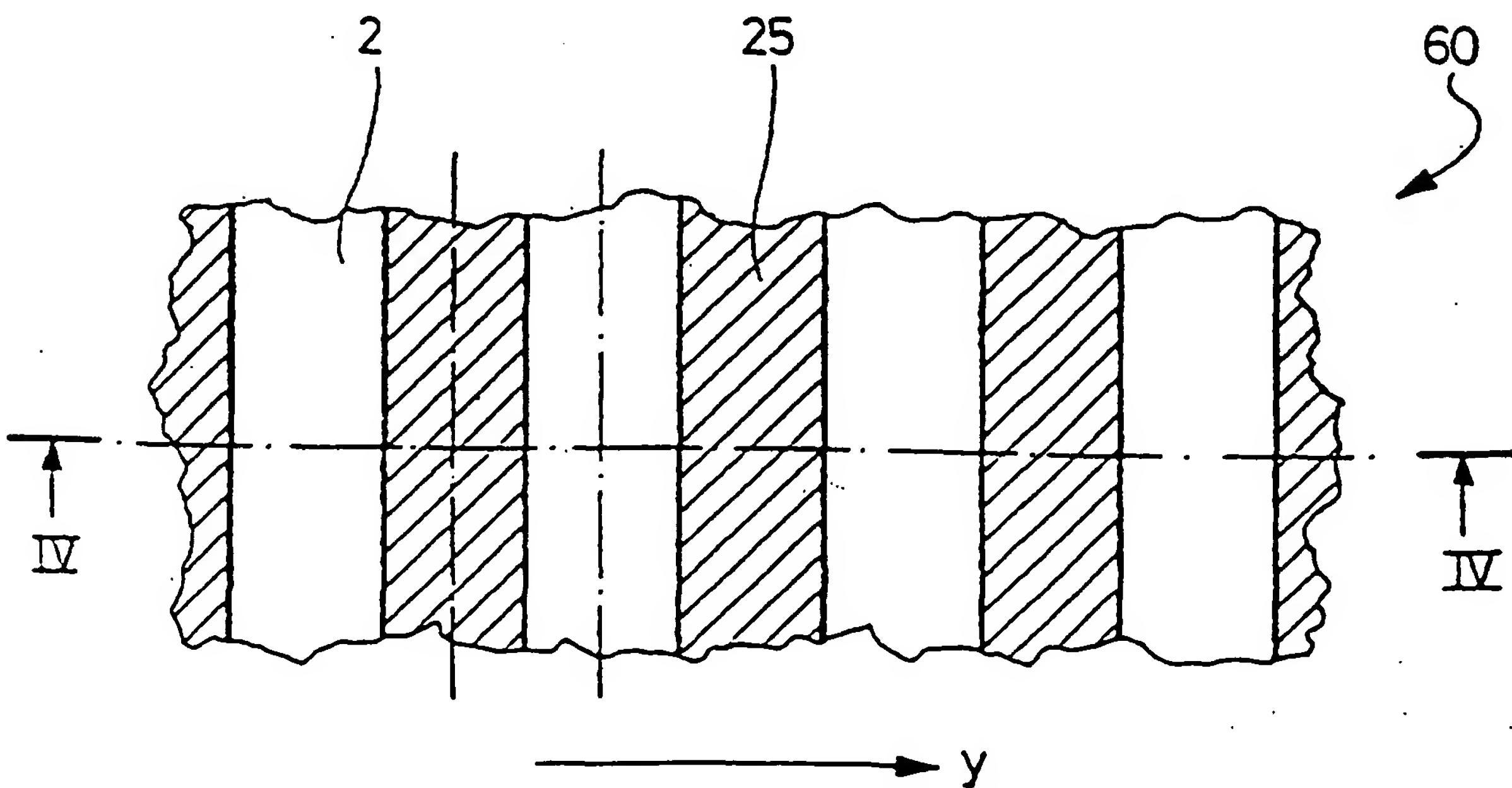


Fig.6

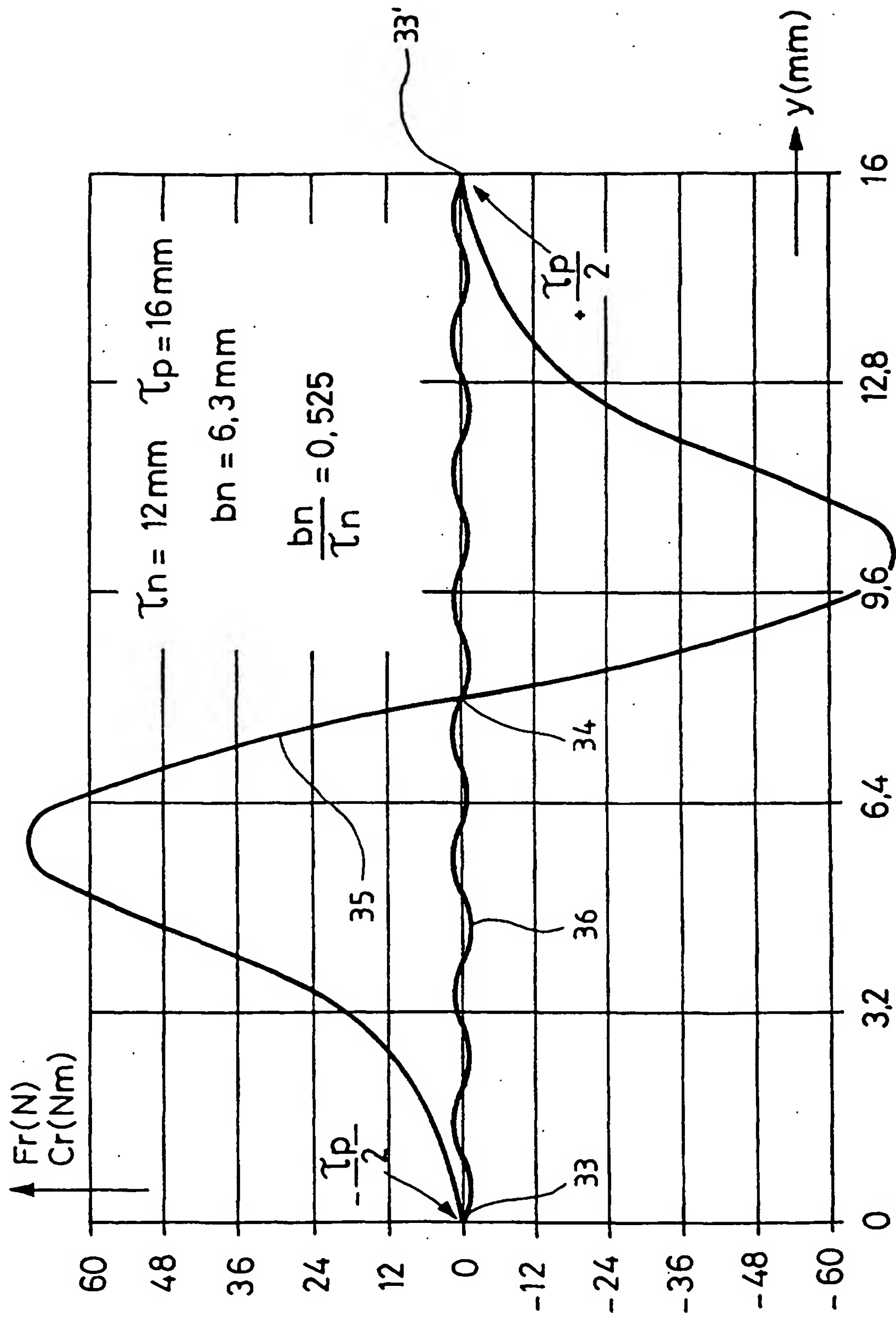


Fig.7

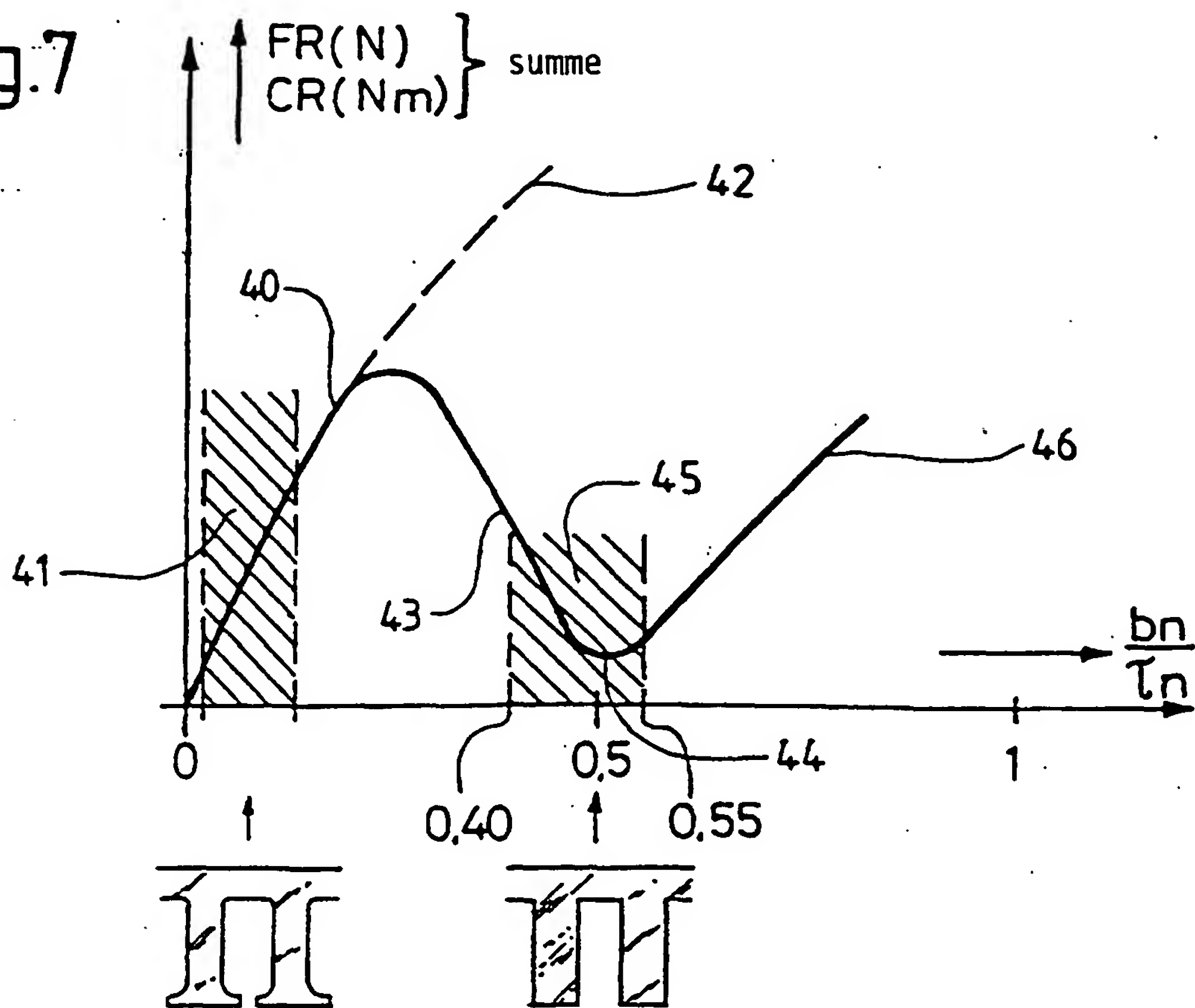


Fig. 8

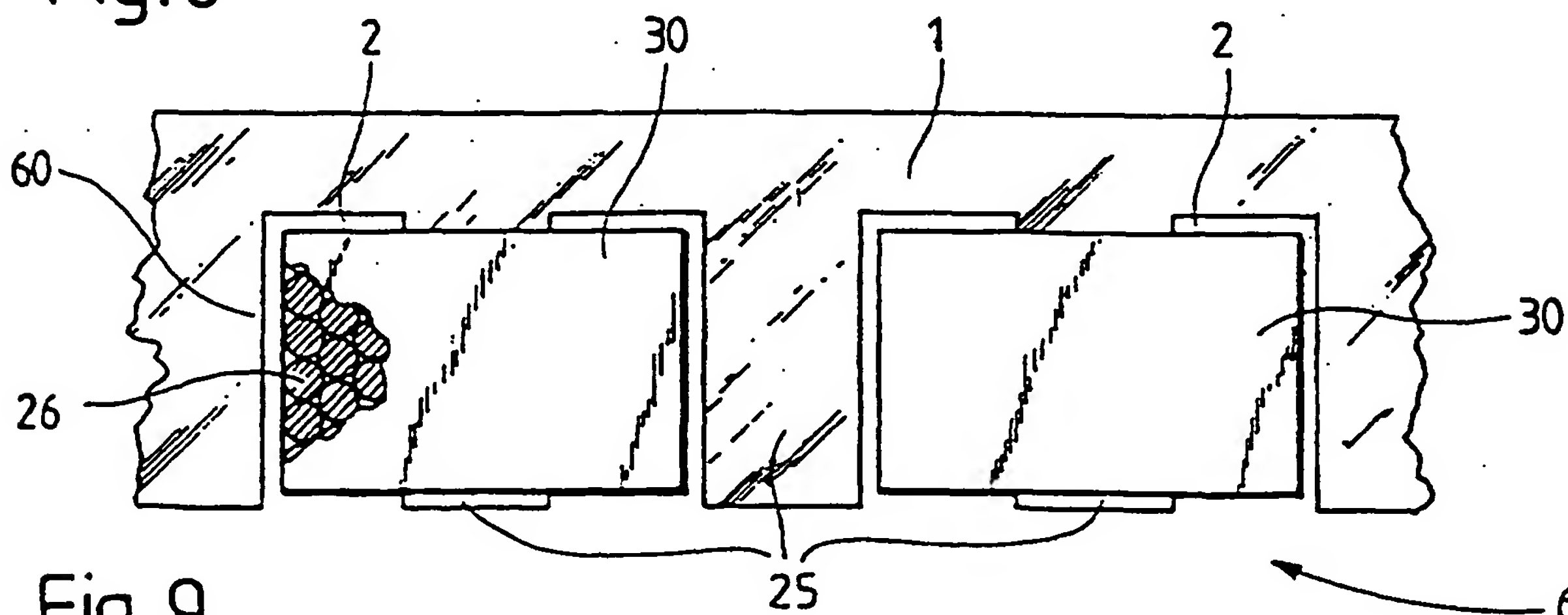


Fig. 9

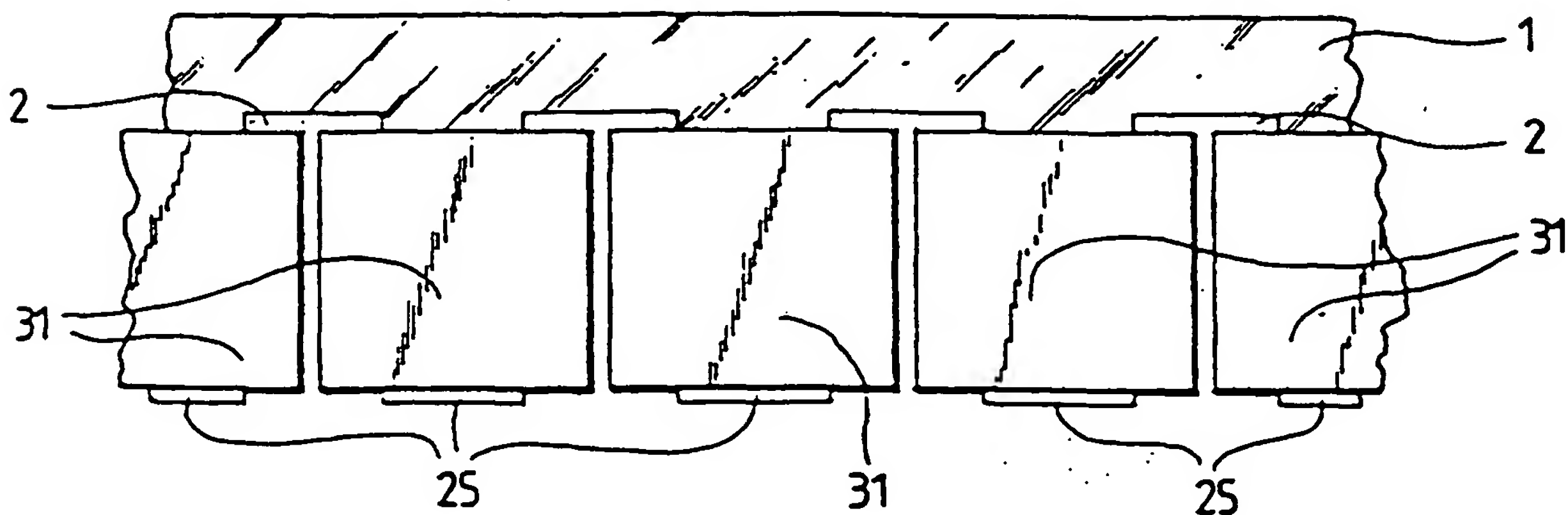


Fig.10

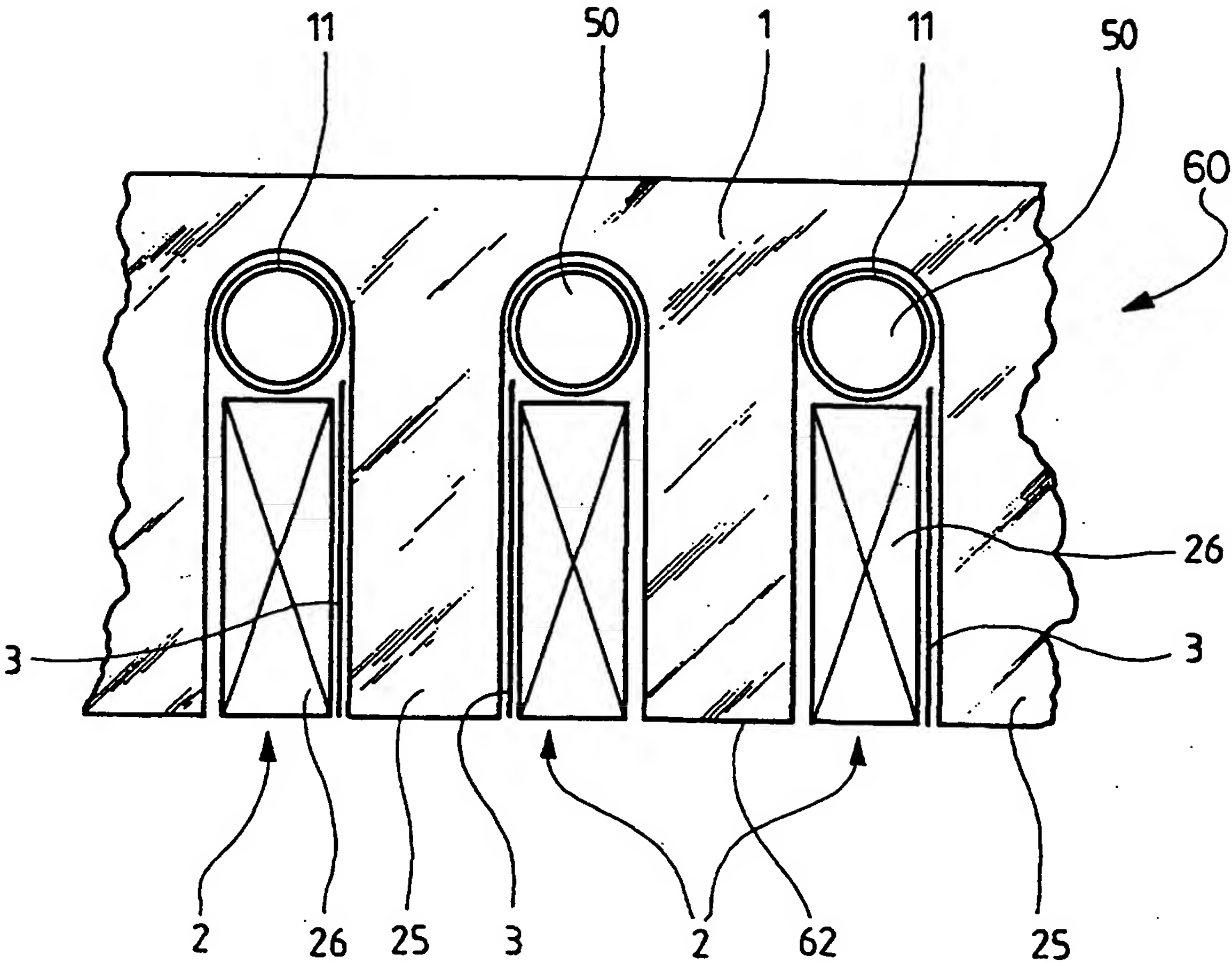


Fig.11

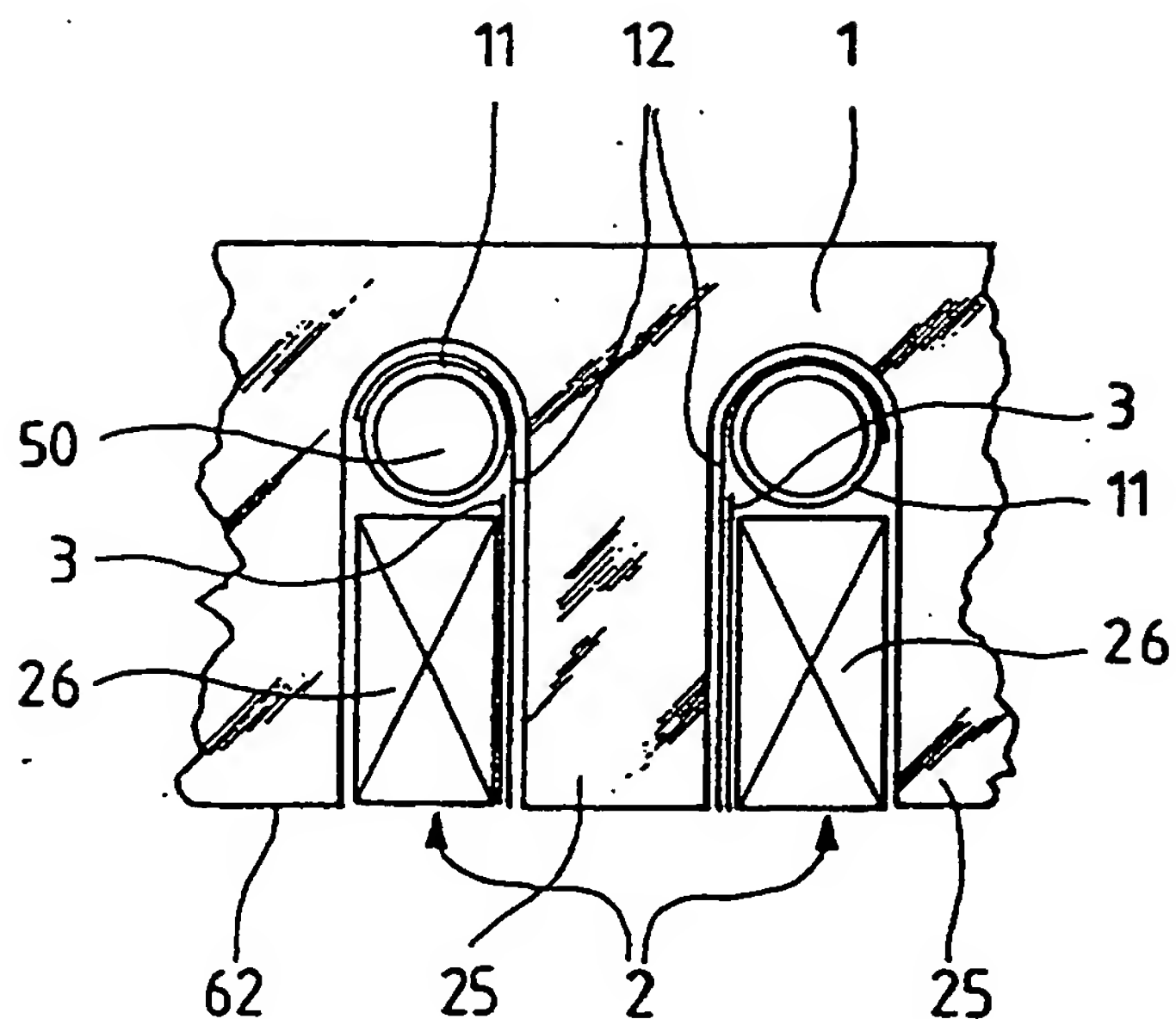


Fig.12

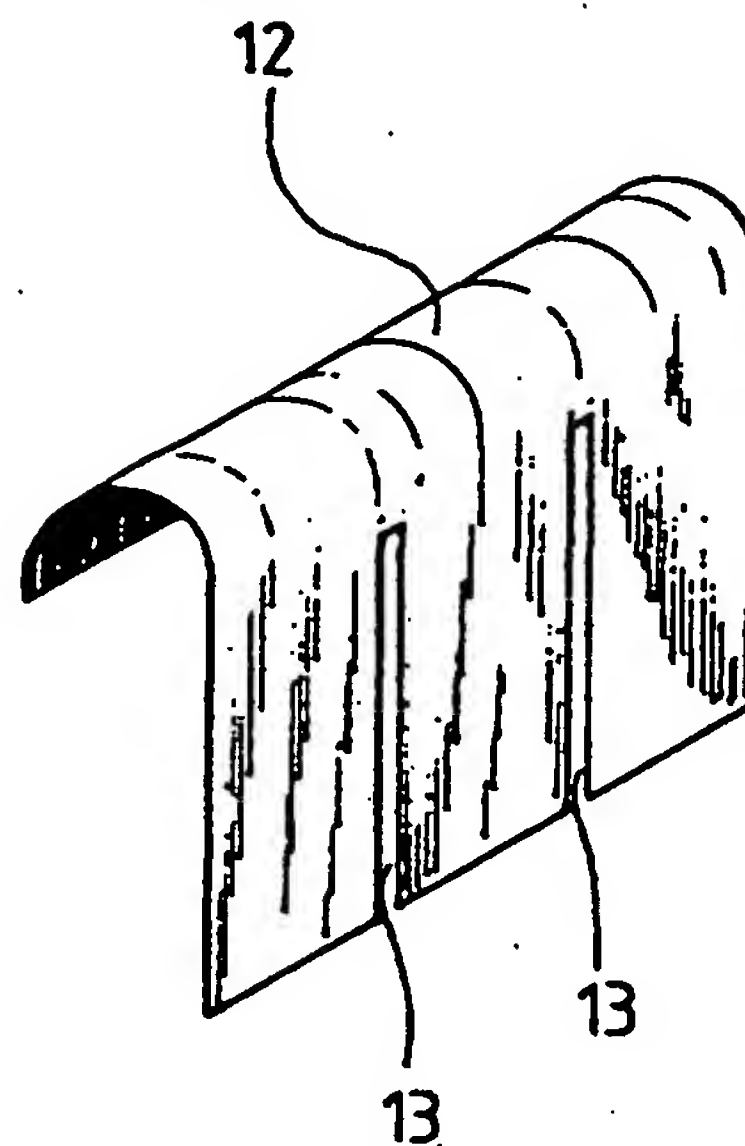


Fig.13

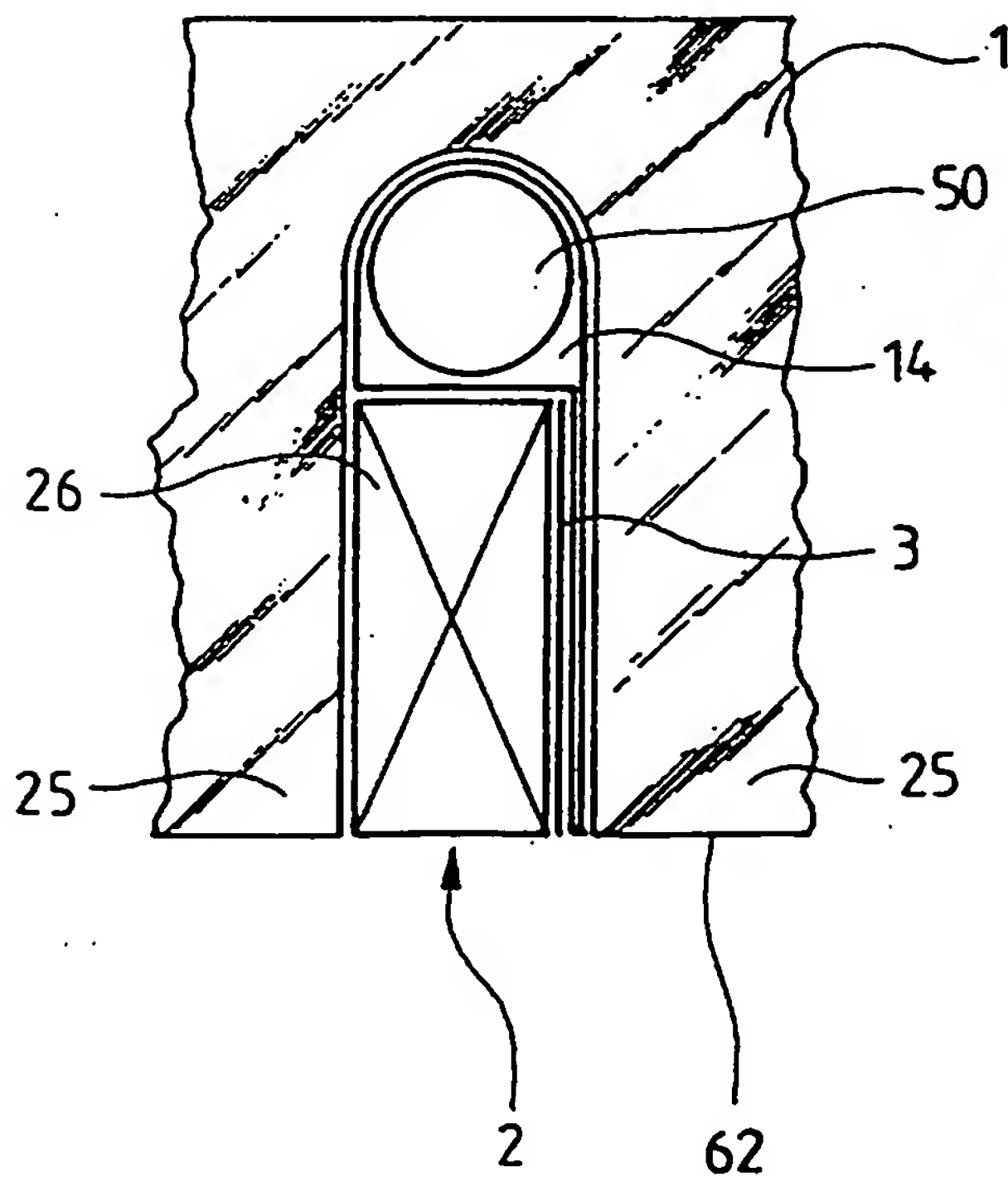


Fig.14

